

基于工业地块土壤和地下水的 环境调查及风险评估分析

吴 琼

(上海建科环境技术有限公司, 上海 200032)

摘 要 工业地块在生产进程中, 鉴于历史时期污染防治与风险防控水平存在局限性, 所排放的废水、废气、废渣等污染物可能留存于土壤之中, 致使土壤与地下水环境遭受污染, 进而对人体健康及周边生态环境构成潜在威胁, 若这些污染源未能及时予以清除, 污染物持续发生迁移扩散, 极有可能诱发严重的环境污染事故。本研究以某染纱厂所在的工业地块为研究对象, 针对性完成基于工业地块土壤和地下水的调查及风险评估分析, 准确识别出场地内存在的主要污染物, 旨在为制定出科学合理的污染物治理、修复方案提供有利的依据, 进而在地块后续开发利用过程中有效保障人体健康、生态环境安全。

关键词 工业地块; 土壤; 地下水; 环境调查; 风险评估

中图分类号: P64

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.011.042

0 引言

土壤作为人类赖以生存的基础性资源, 其质量状况与生态环境安全以及人体健康紧密相关。对工业地块进行土壤和地下水的调查及风险评估, 是有效保障环境安全和人体健康的关键环节, 对于工业地块的合理开发利用和可持续发展, 能够产生不可替代的重要作用。随着我国《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3-2014) 等一系列相关文件的出台, 为工业地块的污染治理和风险管控提供更加科学、合理的依据。

1 工业地块概况

某染纱厂位于某市的工业园区, 占地面积约为 50 000 m²。该染纱厂成立于 20 世纪 80 年代, 长期从事各类纱线的染色加工业务, 在生产过程中, 该染纱厂使用大量染料、助剂和化学药剂。随着城市发展和产业结构调整, 该染纱厂于 2015 年停产搬迁, 地块闲置至今, 现拟规划为商业和住宅混合用地。

2 工业地块土壤和地下水的调查与风险评估

2.1 资料收集与分析

在土壤和地下水的调查过程中, 通过查阅该染纱厂既往生产记录、环境影响评估报告、排污许可证等必要的资料后, 了解到该染纱厂在既往生产过程中所使用的活性、酸性及还原染料, 含有大量重金属及有机污染物^[1]。有鉴于此, 通过访谈该染纱厂周边长期居住的居民, 及前往相关管理部门进行取证,

进一步了解到该染纱厂曾经发生过多起染料泄漏性事故, 同时, 在调查过程中发现, 该染纱厂出现过废水处理设施运行不稳定的情况, 长期存在超出标准排放的情况。

2.2 地块现场调查

考虑到该染纱厂存在染料泄露的情况, 在染料储存区域的染料存储罐罐体周边及可能存在泄露染料的运输路径上设置土壤采样点(8个)及地下水监测井(3个)。在污废水处理区域, 通过在污废水排放口、调节池与沉淀池等关键的位置, 设置土壤采样点(10个)、地下水监测井(4个)获得关键数据。在其他区域, 依据 40*40 m 的网格完成布点的设置, 完成土壤采样点(5个)和地下水监测井(2个)的布置。

2.3 采集样品检测

2.3.1 土壤样品采集

采集该染纱厂所在地块土壤、地下水环境调查样品送往专业实验室完成检测。土壤样品检测项目涉及重金属、挥发性有机物和半挥发性有机物及其他类型污染物的常规指标等, 见表 1。

2.3.2 地下水样品采集

在地下水样品采集过程中, 地下水的采集类型大部分为孔隙潜水。地下水样品检测项目涉及重金属、挥发性有机物和半挥发性有机物及其他类型污染物的常规指标等, 见表 2^[2]。

表 1 某染纱厂所在地块土壤样品检测结果统计表 (m/m²)

序号	污染物	超标倍数 (最大)	超标深度	超标土层厚度	超标区域面积
1	氯乙烯	7.16	1 ~ 2/9 ~ 10	3	734
2	苯	8.92	3 ~ 7	4	792
3	乙苯	12.61	8 ~ 12	5	761
4	二氯乙烷	6.48	6 ~ 11	2	792
5	二氯丙烷	1.83	4 ~ 14	2	658
6	三氯乙烷	1.15	7 ~ 11	1	934
7	三氯丙烷	2.18	2 ~ 3/6 ~ 8	2	1 912
8	六价铬	3.59	1 ~ 15	3	1 873

表 2 某染纱厂所在地块地下水样品检测结果统计表 (m/m²)

序号	污染物	超标倍数 (最大)	超标深度	超标含水层	超标区域面积
1	氯乙烯	4.99	0 ~ 9	孔隙潜水	1 700
2	苯	0.93	0 ~ 9	孔隙潜水	600
3	二氯乙烷	1.42	0 ~ 9	孔隙潜水	1 869
4	二氯丙烷	1.57	0 ~ 9	孔隙潜水	867

2.4 环境调查结果

2.4.1 土壤样品检测结果

土壤样品检测结果显示, 该染纱厂地块的土壤样品中存在多种类型的污染物超标情况,

超标区域面积涉及 8 456 m², 最高超出标准深度为 15 m, 上述检测结果表明该染纱厂所在地块的土壤可能对周边长期居住的居民健康产生巨大的健康风险威胁。其中, 乙苯含量超标倍数达到 12.61 倍, 二氯乙烷含量超标倍数达到 6.48 倍。值得关注的是, 六价铬含量超标倍数达到 3.59 倍, 且相对集中在该染纱厂染料原料储存区域和废水处理区域, 这一现象产生时由于该染纱厂的染料原料中含有超出一定规模的铬元素, 并且, 在该染纱厂储存染料原料和污水处理过程中, 染料原料泄漏或污水排放导致大量铬元素进入到地块土壤层, 长期的浸润下, 铬元素在地块土壤层中发生潜移默化地迁移和转化并形成六价铬。六价铬的毒性较强, 对机体健康、生态环境产生的危害较大, 可以对人体造成不可逆的生化损害, 甚至可能引发多种癌症。

2.4.2 地下水样品检测结果

本次调查过程中, 通过地下水监测井采集到的地下水样品检测出的污染物类型中, 氯乙烯、苯、二氯乙烷及二氯丙烷的毒理学指标超出最大限值, 最大超

标倍数分别达到 4.99、0.93、1.42、1.57 倍, 最大超标深度为 9 m, 详见表 2 所示。地下水样品污染物含量超标区域分布在该染纱厂原生产区域和污水处理区域附近^[3]。通过分析地下水污染原因, 发现该染纱厂在生产过程中, 由于使用大量含有氯、苯的溶剂与助剂帮助污水排放, 使得污染物进入该染纱厂所在位置的地下水系统中。由于氯、苯带有一定程度上的挥发性和溶解性, 极易容易在地下水系统中产生迁移性扩散, 从而造成所在区域的地下水污染。

2.5 地块风险评估

2.5.1 危害识别

通过电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS) 技术、气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS), 对该染纱厂长期生产过程中所使用的染料、助剂等原材料进行毒性分析, 及对生产工艺的研究, 确定六价铬和氯苯是突出的污染物。六价铬可能来源于该染纱厂含铬染料和助剂的使用, 在生产过程中, 含铬染料伴随染纱厂排放的废水、废渣, 进入土壤和地下水^[4]。氯苯则可能是生产过程中有机合成的副产物, 或是在使用某些含有氯苯原材料过程中产生的。

2.5.2 暴露评估

对该染纱厂所在地块, 需要综合考量经口摄入、皮肤接触以及呼吸吸入不同的暴露途径。

经口摄入暴露量的计算基于美国环保局（EPA）推荐的暴露评估模型。

六价格的计算公式为：

$$E_{ing} = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

式中： E_{ing} 表示经口摄入暴露量； C 为土壤中六价格的浓度； IR 是每日经口摄入土壤量。

在经口摄入层面，针对儿童于该地块玩耍的情景，假定每日经口摄入土壤量达到 200 mg，经由对土壤中六价格含量的检测，及公式运算得出经口摄入六价格暴露量为 0.05 mg/kg·d。结果的出现主要由于儿童在玩耍进程中，手部沾染土壤进而发生误食，致使污染物进入体内。

皮肤接触暴露量的计算同样依据 EPA 推荐的模型，公式为：

$$E_{dermat} = \frac{C \times SA \times AT \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (2)$$

式中： E_{dermat} 表示皮肤接触暴露量； SA 为皮肤接触面积； AF 为皮肤黏附系数； ABS 为皮肤吸收分数。

在皮肤接触途径方面，鉴于居民或工作人员于地块上的活动，皮肤有可能与污染的土壤、水体等直接接触，污染物通过皮肤吸收进入人体^[5]。通过对皮肤接触面积、接触时长以及污染物在土壤和水体中的浓度等因素进行分析，可以计算出皮肤接触的暴露量。

就呼吸吸入途径而言，假设居民长期居住在该地块附近，每日呼吸吸入含有氯苯的空气量为 15 m³，依据空气中氯苯的浓度以及人体的呼吸速率等参数，计算得出呼吸吸入氯苯的暴露量为 0.003 mg/kg·d。暴露评估通过对不同暴露途径下的暴露量进行量化，为评估污染物对人体健康的潜在影响提供关键的数据支撑。

2.5.3 毒性评估

染纱厂地块所在的区域由于长期遭受六价格和氯苯等极具危害性的污染物污染，会严重破坏居民生活环境。通过对周边居民开展全面健康检查发现，该地居民在呼吸系统疾病、皮肤病、肝脏疾病的发生率上明显高于其他地区。研究发现，通过对染纱厂周边长期居住的居民进行细致的血液和尿液检测后，结果清晰地显示，绝大部分居民体内的六价格和氯苯含量，远远超出正常标准，一系列数据证实六价格和氯苯等污染物对正常机体产生的健康危害。

2.5.4 风险表征

针对具有明确致癌风险的污染物，采取美国环保

局（EPA）推荐的线性多阶段模型（LMS），完成致癌风险值的计算，非致癌风险熵值计算采用 HQ 法完成。

LMS 计算公式为：

$$CR = E \times CSF \quad (3)$$

式中： CR 为致癌风险值； E 为人体对污染物的暴露量； CSF 为致癌斜率因子。

风险熵值（HQ）的计算公式为：

$$HQ = \frac{E}{RfD} \quad (4)$$

式中： HQ 表示风险熵值； W 为人体对污染物的暴露量； RfD 为参考剂量。

通过严谨的计算，六价格的致癌风险值为 2.1×10^{-3} ；在非致癌风险方面，六价格风险商值计算结果为 166.7，远大于 1。上述结果表明，假如健康机体暴露在该染纱厂所在的工业地块中的污染物中，存在较高的潜在风险，即六价格对皮肤的损害最为严重，可能会导致呼吸道黏膜慢性炎症，降低呼吸道免疫力，增加呼吸道感染风险。在暴露评估中，综合考虑不同暴露途径，将暴露量相加后计算得到氯苯的非致癌风险商值为 0.3，表明在当前暴露水平下，氯苯非致癌风险处于可接受水平，仍然需要持续关注其对人体健康的潜在危害。

3 结束语

染纱厂地块土壤和地下水已经受到不同程度的污染，主要污染物为六价格和氯苯，存在较高的环境风险。为保障地块后续开发利用的安全，需要进一步开展详细调查和风险评估工作，制定科学合理的污染治理和修复方案，降低污染风险，确保该染纱厂所在的地块，能够充分满足商业和住宅混合用地的规划标准。

参考文献：

- [1] 程易, 祝晓彬, 熊贵耀, 等. 基于迁移扩散过程模拟的在产园区重金属污染风险动态评价[J]. 生态毒理学报, 2024, 19(06):261-273.
- [2] 董林明, 宋景辉, 曹嘉萌. 工业地块土壤与地下水污染风险分级方法国际比较研究[J]. 环境污染与防治, 2023, 45(01):113-121.
- [3] 田永莉, 白力军, 孙聪, 等. 内蒙古自治区国家重点生态功能区县域生态环境保护绩效评价研究[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2024, 55(06):579-586.
- [4] 梁增强, 宋文筠. 地下水氯代烃原位氧化效果及腐蚀风险分析[J]. 河北环境工程学院学报, 2024, 34(04):82-89.
- [5] 孙峰, 洪健, 毛萌, 等. 采样密度和插值方法对地下水水质空间分布的影响[J]. 应用基础与工程科学学报, 2024, 32(04):1067-1079.